

ной по физически малому объёму напряжённостью микроскопич. магн. поля в вакууме (см. Лоренца — Максвелла уравнения).

Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, 10 изд., М., 1989; Лаидау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред, 2 изд., М., 1982.

М. А. Миллер, Г. В. Пермитин.

**НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ** в классической электродинамике ( $E$ ) — векторная характеристика электрич. поля, сила, действующая на покоящийся в данной системе отсчёта единичный электрич. заряд. При этом предполагается, что внесение заряда (заряженного пробного тела) во внеш. поле  $E$  не изменяет такового. Иногда вместо Н. э. п. говорят просто «электрич. поле». Размерность Н. э. п. в гауссовой системе —  $L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$ , в СИ —  $LM^{-1}I^{-1}$ ; единицей Н. э. п. в СИ является вольт на метр ( $1 \text{ В/м} = 3 \cdot 10^4 \text{ В/м}$ ). Распределение Н. э. п. в пространстве обычно характеризуют с помощью семейства линий  $E$  (силовых линий электрич. поля), касательные к к-рым в каждой точке совпадают с направлениями вектора  $E$ . Как и любое векторное поле, поле  $E$  разбивается на две составляющие: потенциальную ( $(\nabla E_{\text{п}}) = 0, E_{\text{п}} = -\nabla \phi$ ) и вихревую ( $\nabla E_{\text{в}} = 0, E_{\text{в}} = [\nabla A^{\text{в}}]$ ). В частности, электрич. поле, создаваемое системой неподвижных зарядов, является чисто потенциальным. Электрич. поле излучения, в т. ч. поле  $E$  в поперечных эл.-магн. волнах, является чисто вихревым. Вместе с вектором магн. индукции  $B$  Н. э. п. составляет единый 4-тензор электромагнитного поля. Поэтому чисто электрич. поле данной системы зарядов существует лишь в «избранной» системе отсчёта, где заряды неподвижны. В др. инерциальных системах отсчёта, перемещающихся относительно «избранной» с пост. скоростью  $v$ , возникает ещё и магнитное поле  $B' = [vE]/\sqrt{1-v^2/c^2}$ , обусловленное появлением конвекц. токов  $j = \rho v/\sqrt{1-v^2/c^2}$  ( $\rho$  — плотность заряда в «избранной» системе).

Для характеристики полей в материальных средах помимо Н. э. п. вводят ещё вектор поляризации среды  $P^e (E)$ , равный дипольному моменту единицы объёма. Обычно оба эти вектора объединяются в вектор электрической индукции, или электрич. смещения,  $D = E + 4\pi P^e$ . Источниками поля  $D$  являются свободные заряды ( $\nabla D = 4\pi \rho$ ), источниками поля  $E$  — совокупность свободных ( $\rho$ ) и связанных ( $\rho_{\text{св}}$ ) зарядов  $\nabla E = 4\pi(\rho + \rho_{\text{св}}) = -\nabla P^e$ . В линейных средах, где  $P^e$  есть линейная ф-ция  $E$ , имеет место принцип суперпозиции, согласно к-рому поле, создаваемое суммой зарядов  $\rho_{\text{св}} = \sum \rho_n$ , равно векторной сумме полей, создаваемых парциальными зарядами  $E_{\text{св}} = \sum E_n$ .

В классич. электродинамике иногда вводят «естеств.» значение Н. э. п.,  $E_{\text{кв}}^* = m_e^2 c^4 / |e|^3 = 6 \cdot 10^{15} \text{ В/м}$ , выражаемое через фундам. константы и равное приблизительно Н. э. п. на поверхности заряд. тела, служащего классич. моделью электрона (заряд  $e = -4,8 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$ , радиус  $r_e = 2,8 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ ). Однако в таких сильных полях становятся существенными квантовые эффекты; в квантовой электродинамике критич. значение Н. э. п. для частицы с массой  $m$  и зарядом  $e$  равно  $E_{\text{кв}}^* = m^2 c^3 / \hbar |e|$ . Работа по перемещению частицы в таком поле на расстояние комптоновской длины волны  $\lambda = \hbar/mc$  равна энергии покоя частицы. Для электрона  $E_{\text{кв}}^* = 4,4 \cdot 10^{13} \text{ В/м}$ ; при  $E > E_{\text{кв}}^*$  происходит эфф. рождение электронно-позитронных пар (см. Рождение пар). Отношение  $E_{\text{кв}}^* / E_{\text{кв}}^* = 1/137$ , т. е. равно постоянной тонкой структуры.

Для прецизионных измерений статич. и медленно изменяющихся электрич. полей обычно используют Штарка эффект. Повседневные рабочие измерения часто производят опосредованно, через значение

прикладываемых напряжений или через величины наведённых эдс на зондах и щупах.

Лит. см. при ст. Электрическое поле.

**НАРУШЕННОЕ ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ (НПВО)** — явление, основанное на проникновении световой волны из оптически более плотной среды 1 (с показателем преломления  $n_1$ ) в менее плотную среду 2 (с показателем преломления  $n_2$ ) на глубину порядка длины световой волны  $\lambda$  в условиях полного внутреннего отражения (ПВО), т. е. при падении света на границу раздела сред под углом  $\theta$ , большим критического  $\theta_{\text{кр}} = \arcsin n_{21}$  ( $n_{21} = n_2/n_1$ ). Нарушение ПВО заключается в том, что коэф. отражения  $R$  становится меньше единицы вследствие поглощения света в слое, в к-рый проникает волна, падающая на отражающую среду. Величина ослабления  $A = 1 - R$  отражённой волны зависит от поляризации падающей волны, а также пропорциональна показателю поглощения  $\kappa_2$  второй среды. Это послужило основой для развития спектроскопии НПВО, имеющей ряд преимуществ перед традиц. методами исследования спектров поглощения и отражения. Особенно эффективен метод НПВО для исследований поверхностных оптич. свойств объектов, а также для сильно поглощающих сред.

В отражающем слое амплитуда падающей волны  $E_0$  ослабляется в результате резонансного взаимодействия с молекулами вещества (диполями). В поглощающей среде 2 образуется затухающая волна  $E = E_0 \times \exp(-z/d_{\text{гл}})$ , где  $d_{\text{гл}}$  — глубина проникновения, на к-рой амплитуда волны ослабляется в  $e$  раз;  $d_{\text{гл}} = (\lambda/n_1) 2\pi (\sin^2 \theta - n_{21}^2)^{-1/2}$ . Затухающая волна имеет три составляющие в ортогональной системе координат  $x, y, z$  (в отличие от проходящей волны, у к-рой поле  $E$  ортогонально к направлению распространения и не имеет продольной составляющей). Амплитуды отражённых  $E_p$  и  $E_s$  волн, поляризованных соответственно в плоскости отражения и перпендикулярно ей, определяются вблизи границы ( $z = 0$ ) через составляющие  $E_{0x}, E_{0y}$  и  $E_{0z}$  падающей волны;  $E_s = E_{0y}, E_p = (E_{0x}^2 + E_{0z}^2)^{1/2}$ . Составляющие  $E_{0x}, E_{0y}$  и  $E_{0z}$  являются ф-циями  $n_{21}$  и  $\theta$ ; их зависимость от  $\theta$  представлена на рис. 1. Для единичной падающей амплитуды вблизи  $\theta_{\text{кр}}$  компонента  $E_{0y} = 2$ , компонента  $E_{0z}$  в среде 1 уменьшается в  $(n_2/n_1)^2$  раз, а в среде 2  $E_{0z}$  возрастает в  $2n_1/n_2$  раз, т. е. наиб. интенсивное эл.-магн. поле в отражающей среде можно получить с материалами, имеющими большую  $n_1$ , поэтому в спектроскопии НПВО используют материалы с большими  $n_1$ . Наиб. ослабление падающего света (при углах, близких к критическому) происходит за счёт диполей, ориентированных по оси  $z$ , т. е. пер-

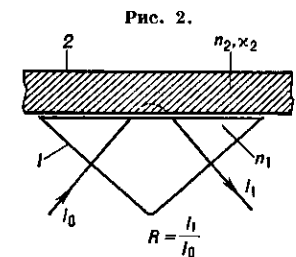
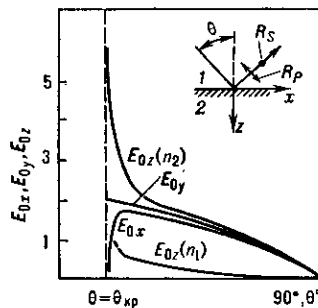


Рис. 1. Зависимость амплитуд электрического поля падающей волны от угла падения  $\theta$ .

пендикулярных границе раздела, а наименьшее — для диполей, расположенных по оси  $x$ .

Схема измерения оптич. постоянных  $n_2$  и  $\kappa_2$ , получаемых из спектров НПВО с помощью Крамера — Кронига соотношений и Френеля формул, приведена на рис. 2 ( $I_0$  — интенсивность падающей,  $I_1$  — интенсивность отражённой волн). Для выполнения условий ПВО исследуемое вещество приводится в идеальный контакт с оптич. элементом (обычно — призмой), проз-